E/CONF.39/A/84
9 Oct.1962
ORIGINAL : FRANCAIS

CONFÉRENCE DES NATIONS UNIES
SUR L'APPLICATION DE LA SCIENCE ET DE LA TECHNIQUE
DANS L'INTÉRÊT DES RÉGIONS PEU DÉVELOPPÉES

Point de l'ordre du jour : A.3.2 Hongrie

ORGANISATION D'UN SERVICE HYDROLOGIQUE, CONTRIBUTION A LA CREATION DES BASES HYDROLOGIQUES DE L'ECONOMIE HYDRAULIQUE

Par Woldemar LASZLOFFY,
Docteur des Sciences Techniques,

et Karoly SZESZTAY,
Ingénieur Docteur,
Institut de Recherches
des Ressources Hydrauliques,
Budapest, Hongrie

Les mémoires rédigés à l'intention de la Conférence des Nations Unies sur l'application de la science et de la technique dans l'intérêt des régions peu développées sont des documents de travail. Ils sont publiés tels qu'ils ont été présentés et les assertions et opinions qu'ils contiennent sont celles de leurs auteurs.

NOTES

1. Les mémoires choisis pour être présentés en séance générale pourront être obtenus à la Conférence dans les langues officielles suivantes des Nations Unies: anglais, espagnol, français et russe.

2. Les mémoires choisis pour être présentés en séance spéciale pourront être obtenus à la Conférence dans l'une seulement de ces langues officielles.

3. Les résumés qui ont été rédigés pour tous les mémoires par les auteurs de ceux-ci pourront être obtenus à la Conférence dans les langues officielles suivantes des Nations Unies: anglais, espagnol, français et russe.

4. Préalablement à la Conférence, les mémoires et les résumés ne feront pas l'objet d'une distribution générale mais d'un tirage restreint destiné aux délégations des gouvernements et autres participants officiels. La publication et la distribution générale des actes de la Conférence s'effectueront conformément aux règles et pratiques agréées par le Comité des publications des Nations Unies.

ORGANISATION D'UN SERVICE HYDROLOGIQUE

Contribution à la création des bases hydrologiques de l'économie hydraulique

Woldemár LÁSZLÓFFY
docteur des sc. techn.

Károly SZESZTAY
ingénieur docteur

Institut de Recherches des Ressources Hydrauliques,
Budapest, Hongrie

Dans le développement économique d'une région donnée la mise en valeur des ressources hydrauliques joue un rôle décisif. La reconnaissance des ressources d'eau disponibles et du cycle annuel des eaux exige des études hydrologiques s'appuyant sur des observations s'étendant largement dans l'espace et dans le temps. Cependant l'on ne peut attendre,même dans les régions où les données hydrologiques, hydrométéorologiques et hydrogéologiques présentent des lacunes, voire font défaut, que la construction d'usines hydroélectriques, de barrages réservoirs, d'ouvrages d'irrigation etc., nécessaires pour lancer le développement de la vie économique. L'hydrologue doit fournir pour l'élaboration des projets au moins des points d'appui approximatifs.

Dans ce qui suit nous ne nous occuperons que des eaux de surface et de certaines questions générales se présentant partout de la même façon, quelque différentes que soient les conditions naturelles et économiques et nous allons prêter une attention spéciale au cas de l'absence partielle ou totale de données d'observation.

1. Estimation des ressources d'eaux de surface.

Le module du débit des rivières peut être estimé en général avec une exactitude suffisante, même en l'absence de jaugeages directs, sur la base des données relatives aux précipitations et à la température de l'air dont la valeur approximative peut se calculer de nos jours, pour n'importe quel point du globe, en se basant sur sa position géographique, son altitude et son orientation par rapport aux vents.

Les hydrologues s'efforcent depuis plusieurs décennies à déterminer, en s'appuyant sur les statistiques et sur des raisonnements physiques, des relations exprimant pour un bassin versant donné, le rapport entre la précipitation /P/ , l'écoulement /H/ et l'évapotranspiration /E_B/. Puisque pour la moyenne d'une série

d'années

$$H = P - E_B$$

et P pouvant être supposé connu, il suffit de pouvoir calculer l'une des deux inconnues, l'autre s'obtenant par simple soustraction. (Valeurs exprimées par la hauteur en mm de lame d'eau répartie uniformément sur la superficie du B.V.)

De simples raisonnements conduisent à l'évidence que l'évapotranspiration dans un point donné (et partant l'écoulement aussi) dépend non seulement de la température, mais de la quantité des précipitations aussi. En désignant la température moyenne annuelle par t (°C)

$$E_B = f(P,t) \quad \text{resp.} \quad H = f(P,t)$$

Les formules les plus connues de ce genre sont celles de W. Wundt (1), de A. Coutagne et de L. Turc (2).

Etant donné que pour les régions ayant la même température moyenne annuelle l'évapotranspiration (et l'écoulement) peut montrer de fortes différences suivant la répartition au cours de l'année, l'on a établi dans une étape suivant des relations pour des régions géographiques limitées (p.ex. A.N. Khosla (3) pour les Indes) ou introduit - sur la base de raisonnements physiques - encore d'autres variables.

Du point de vue théorique la méthode de calcul de M.J.Budiko examinant le bilan hydrologique sur la base du bilan radiatif du terrain est certes remarquable (4) . Avec le développement des mesures relatives à la radiation solaire cette méthode deviendra sans doute un auxiliaire utile des hydrologues. Une voie plus pratique est suivie par W.B. Langbein (5) qui remplace la température moyenne annuelle par la température corrigée $t' = \sum t_i P_i / \sum P_i$ ou l'indice i marque les valeurs mensuelles.

Cependant dans des cas concrets il ne suffit même pas toujours de prendre en considération les trois facteurs dominants qui déterminent la valeur de l'évapotranspiration. Sur la base de mesures effectuées à l'aide de lysimètres L. Turc calcule l'évapotranspiration par décades et tient compte de la radiation solaire, de la capacité de rétention du sol et de la consommation d'eau de la végétation aussi. Il obtient la somme annuelle sur la base des 36 valeurs décadaires, donc il tient compte de l'allure du temps aussi. Toutefois si nous appliquons cette méthode à un bassin particulier nous devons forcément remplacer les variables par certaines valeurs moyennes approximatives, de sorte que le résultat aussi ne pourra être qu'approximatif.

Ces dernières années l'on a beaucoup parlé - surtout dans la littérature météorologique et géographique - de la méthode de calcul statistique de C.W. Thornthwaite élaborée a l'origine pour des comparaisons climatologiques et développée par la suite en vue de la détermination du bilan hydrologique et de l'écoulement d'un bassin particulier. En comparant l'écoulement de quelques bassins versants de la Hongrie on constate cependant des écarts considérables entre les valeurs observées et calculées avec la susdite méthode (fig. I), ce qui peut s'expliquer comme suit (7):

(1) Comme les autres, ce procédé ne tient pas non plus compte des caractéristiques spéciales des bassins versants (relief, densité du réseau hydrographique, rétention à la surface

et dans les lits, etc.

(ii) Si la précipitation tombée dans l'unité du temps (mois ou jour) est inférieure au pouvoir évaporant de l'atmosphère le procédé considère l'écoulement égal à zéro, alors que dans certaines circonstances - p.ex. lors de violentes averses - d'importantes quantités d'eau peuvent arriver dans les lits des cours d'eau même dans ces cas.

(iii) La capacité de rétention de la couche superficielle du sol, l'un des plus importants facteurs de départ du calcul, recèle beaucoup d'incertitudes. D'écarts fort grands peuvent se présenter par rapport aux 300 mm proposés pour les conditions moyennes.

Dans un cas donné il est utile d'essayer plusieurs méthodes et d'apprécier les résultats autant que possible à la lumière des observations locales ou se rapportant à d'autres régions à caractéristiques analogues. Ce faisant, il faut prendre en considération toutes les circonstances qui font augmenter resp. diminuer l'écoulement (pente et orientation des versants, forme et relief du bassin versant, les caractéristiques du sol, la couverture végétale, densité du réseau hydrographique, etc.) et il faut procéder avec toute la précaution qui s'impose dans les études de projets. Nous avons trouvé p.ex. que dans les régions de montagnes de la Hongrie le procédé de Langbein est satisfaisant alors que sur la Grande Plaine d'une superficie de 100 000 km^2 tout à fait plate il fallait diminuer de 60 % les valeurs calculées de l'écoulement du fait de l'importance de la rétention.

En multipliant l'écoulement ainsi déterminé pour chacun des bassins élémentaires avec l'aire de celui-ci et en le divisant en suite avec le nombre des secondes de l'année nous obtenons le module de l'écoulement (Q m^3/sec) dont la croissance depuis la source vers l'embouchure peut se représenter utilement dans un profil en long.

Si nous connaissons, en nous appuyant sur des observations et jaugeages systématiques effectués dans au moins un profil de la rivière, les conditions d'écoulement et si nous pouvons calculer les débits spécifiques se rapportant à la crue et à l'étiage, puis leur valeur par rapport au module, on peut construire le profil en long hydrologique suivant fig. II. Si celle-ci est construite pour le bassin versant resp. le cours d'eau tout entier en tenant compte des aspects géographiques, géologiques et météorologiques, et en comparant sans cesse entre elles les valeurs obtenues pour les divers profils, nous obtenons sans faute des résultats acceptables (8). A titre de contrôle on peut exécuter pour certains profils des calculs hydrauliques, p.ex. sur la base de traces de crues.

2. Quelques méthodes d'examen des conditions d'évaporation.

La connaissance de l'évaporation des nappes d'eau est nécéssaire en premier lieu dans l'élaboration ds projets de barrages réservoirs et de viviers. La différence entre le pouvoir évaporant de l'atmosphère c.à.d. de l'évapotranspiration potentielle sous un climat donné (qui serait le plus favorable pour le développement de la végétation si elle pouvait être atteinte) et de l'évapotranspiration réelle sert de point d'appui à l'élabo-

ration de projets d'irrigation à grande échelle.

a./ La détermination de l'évaporation à partir des surfaces d'eau libres

De par le monde ce sont les bacs d'évaporation placés à l'air libre qui se sont avérés les plus adéquats pour la mesure de l'évaporation à partir des surfaces d'eau libres.

Du fait de la variation relativement restreinte de l'évaporation annuelle et du rapport serré entre la valeur de l'évaporation moyenne pluriannuelle et les facteurs climatologiques, une série d'observations de 3-5 ans de quelques stations bien choisies peut déja fournir une orientation satisfaisante au sujet des conditions de l'évaporation de surfaces étendues aussi. Afin de pouvoir passer des données obtenues avec les bacs aux surfaces d'eau naturelles à caractéristiques diverses il importe que les dimensions et la situation des bacs correspondent exactement aux types internationalement agréés dont les facteurs de réduction sont, au moins approximativement, connus. L'emploi simultané de deux bacs d'évaporation par station est à recommander (le type "A" du U.S. Weather Bureau proposé par le WMO et le type GGI-3000 normalisé en URSS). L'appareil de mesure du niveau d'eau d'après Fazekas employé dans le réseau hongrois peut desservir sur une station deux ou plusieurs bacs d'évaporation (9) (Fig. III).

A défaut de données de mesures directes on peut s'orienter au sujet des valeurs caractéristiques de l'évaporation avec des calculs basés sur des données climatologiques resp. de l'allure du temps aussi. Ces calculs sont encore utiles pour extrapoler dans l'espace et le temps des données de mesures sporadiques.

Dans les calculs que nous avons fait dans ce but en 1957 pour le territoire de la Hongrie (10) nous avons employé la formule empirique

$$E = a\,(e_o - e)\,(1 + bv)$$

employée largement dans d'autres pays aussi, formule où E est l'évaporation mensuelle en mm, e_o la tension de vapeur saturante correspondant à la température moyenne de l'eau en surface (mm mercure), e la valeur moyenne de la tension effective de la vapeur d'eau dans l'air, au voisinage de la surface de l'eau (mm mercure), v la vitesse moyenne mensuelle du vent en m/sec, a et b des constantes dépendant des prescriptions pour les observations météorologiques (en cas d'observations conformes aux normes en vigueur en Hongrie a = 11 et b = 0,20).

C'est la détermination des données de base (température de l'eau, tension de vapeur et vitesse du vent) réellement caractéristiques de la région resp. de la surface d'eau à caractériser qui constitue la principale difficulté du calcul. Il est utile de procéder à l'élaboration en faisant toujours intervenir plusieurs stations à dispositions naturelles diverses d'une région plus au moins étendue. Sur la base de relations déterminées par régions et séparément pour chaque mois, et s'appuyant sur les données relatives à la température de l'air, on peut, dans une certaine mesure, suppléer à l'insuffisance de données relatives à la température de l'eau et à la tension de vapeur de l'air, resp. éliminer l'effet du manque d' homogénéité des données dû à la technique des mesures.

b./ Détermination du besoin en eaux d'irrigation sur la base de données climatologiques

L'irrigation doit suppléer la différence entre la quantité la plus avantageuse pour les plantes cultivées et celle effectivement disponible. Cette donnée se rattache étroitement à l'évapotranspiration potentielle qui représente pour les larges alentours d'un point donné et dans les conditions climatiques et atmosphériques en question, la valeur moyenne de la plus grande évaporation possible.

Les propositions en vue de la détermination de l'évapotranspiration potentielle E_o peuvent se classer en deux groupes: 1.) Le calcul basé sur des relations statistiques déduites des observations sur lysimètres artificiellement maintenues humides (6). 2.) Le calcul basé sur les lois du bilan radiatif du terrain humide (4).

A cause des difficultés déja mentionnées au chapitre 1 nous avons employé au cours des élaborations réalisées dernièrement pour l'espace de la Hongrie et du bassin des Karpates en vue de déterminer l'évapotranspiration potentielle la relation

$$E_o = f(T_{10})$$

représentée par un trait pointillé sur la fig. IV, relation que nous avons déduite des données de bassins versants secondaires pour lesquels on peut supposer que l'évapotranspiration réelle et potentielle sont identiques (la moyenne du coefficient d'écoulement calculé sur plusieurs années est supérieure à 0,5) (11). Pour les régions basses et des collines du bassin des Karpates $E_B < E_o$, l'évapotranspiration est donc soumise à l'influence de la quantité d'eau disponible, par conséquent

$$E_B = f(T_{10}, P)$$

(T_{10} désigne la somme annuelle moyenne des températures moyennes journalières dépassant 10 °C).

L'emploi du procédé suivant fig. IV pour la détermination de l'évapotranspiration potentielle peut se recommander en premier lieu pour des bassins secs entourés de hautes montagnes riches en precipitations. La différence entre la valeur E_o et l'évapotranspiration E_B, le "manque d'évapotranspiration", constitue la valeur-limite supérieure du supplément en eaux dont l'irrigation a besoin. Avec l'emmagasinement des précipitations locales cette valeur peut être en général diminuée considérablement, car l'écoulement étant devenu zéro l'irrigation ne doit suppléer que le "manque de précipitation": $(E_o - P)$.

Afin de pouvoir examiner les variations du besoin d'eaux d'irrigation d'année en année et au cours de l'année il faut encore connaître les valeurs mensuelles de l'évapotranspiration réelle. Un détail de procédé de calcul élaboré a cette fin est présenté sur la fig. V dont l'emploi permet de déterminer, sur la base de la température moyenne mensuelle, la valeur approximative de l'évapotranspiration mensuelle (10).

3. Bases hydrologiques de la régularisation du niveau d'eau des lacs

Il est souvent nécessaire de modifier le régime des eaux

naturelles des lacs afin de diminuer la variation annuelle du niveau d'eau ou augmenter les débits d'eau pouvant être dérivés. Si le lac a un surplus d'eau important c'est généralement la construction d'écluses d'évacuation qui constitue la solution la plus adéquate. Si l'évaporation annuelle diffère considérablement de la précipitation on peut radicalement modifier, avec une modification relativement restreinte de la surface du lac (en faisant baisser ou monter le niveau d'eau moyen) son bilan hydrologique, par là son régime des eaux, et par ailleurs ses conditions chimiques et biologiques aussi. Dans des régions chaudes et au climat sec on peut encore penser à la réduction artificielle de l'évaporation.

a./ Choix du débit devant servir de base aux calculs des ouvrages d'évacuation

En dressant les projets des écluses de régulation il faut connaître, afin de pouvoir choisir la solution la plus économique, le rapport entre la capacité d'évacuation des écluses (Q) et les données caractérisant les variations du niveau d'eau du lac. Suivant les études faites en Hongrie un débit

$$Q_{écon} = Q_o + B\,(Q_{max} - Q_o)$$

peut servir de base pour déterminer les dimensions des ouvrages d'évacuation économiques. Dans cette formule approximative Q_o = l'écoulement correspondant à la moyenne pluriannuelle du surplus d'eau du lac et Q_{max} = l'écoulement correspondant au surplus mensuel maximal pouvant arriver au cours de périodes d'une certaine longueur. La valeur du facteur B reste - abstraction faite de cas tout à fait exceptionnels - pour les diverses conditions climatiques entre 0,20 et 0,30.

b./ Réduction de l'évaporation des nappes d'eau

L'accroissement des réserves d'eau utilisables des lacs et réservoirs d'une superficie moindre de quelque km^2 dans les régions arides et semi-arides peut être obtenu par l'emploi de matières chimiques diminuant l'évaporation. Au cours des dernières années des recherches de grande envergure furent exécutées de par le monde au sujet du choix des matières convenant le mieux au but proposé et au sujet des aspects techniques et chimiques de leur emploi (12).

Les recherches effectuées dans ce domaine en Hongrie dans les années 1959-61 (13) se concentrèrent - se rattachant aux résultats atteints à l'étranger - sur deux groupes de questions: 1.) effet de l'emploi des matières chimiques sur le bilan thermique de la surface d'eau; 2.) la diminution dans le temps de l'efficacité des matières employées.

A titre d'exemple de ces dernières recherches la fig. VI. montre pour un produit d'alcool cétylique de la British Chemical Industry l'allure moyenne de la diminution de l'efficacité dans le temps (E = évaporation de la surface d'eau libre, E' = évaporation de la surface protégée par une couche monomoléculaire.)

Dans les conditions qui prévalent en Hongrie l'emploi de matières chimiques est économique dans les cas où la valeur de l'eau ainsi économisée dépasse 3-4 Ft/m^3.

4. Programme à recommander pour dresser rapidement un inventaire des ressources d'eau

Les tâches peuvent être accomplies dans l'ordre suivant

a.) On délimite les bassins versants sur de cartes ou/et de photographies aériennes; on établit le projet du réseau des stations hydrométéorologiques de base et fixe l'ordre dans lequel celles-ci devront être mis en service, enfin on forme du personnel technique auxiliaire à un rapide cours. Les observations sont commencées (14).

Les stations sont à installer en partie le long des principaux cours d'eau, en partie sur de bassins versants types, aux conditions climatiques et d'écoulement caractéristiques. Elles seront chargées de la mesure de tous les facteurs météorologiques et hydrologiques importants.

b.) Tournée en expédition sur le territoire du système d'eaux à examiner. Collection de données se basant sur l'interrogation des habitants connaissant les conditions locales (crues, étiages extraordinaires, etc.)- détermination des débits de crue sur la base de traces d'inondations. Création de stations temporaires pour quelques années; jaugeages de débits en vue de déterminer les proportions entre les débits de la rivière principale et des affluents resp. entre ceux des affluents.

c.) Première détermination approximative du bilan hydrologique du territoire (P, E_B, H) sur la base de données météorologiques, de mesures exécutées sur les bassins-types, enfin les comparaisons avec les données d'autres régions à caractère analogue. Construction de profils en long hydrologiques et, autant que possible, leur correction en s'appuyant sur des données de mesures resp. sur la base de "l'analogie hydrologique". Détermination, en fonction de la superficie du bassin versant, du rapport entre le débit de crue et le module, resp. entre ce dernier et le débit d'étiage.

d.) En s'appuyant sur les expériences de la tournée on désigne les profils dans lesquels les jaugeages de débit doivent s'exécuter régulièrement et l'on fixe le programme de ceux-ci. Nomination d'hydrologues régionaux et leur instruction complémentaire. Organisation du contrôle et de l'élaboration statistique continus des stations et des résultats de mesures. Récapitulation et publication de ces dernières par systèmes d'eaux.

e.) Organisation d'un service d'annonce et de prévisions hydrologiques, - études spéciales - p.ex. au sujet du transport de débit solide, du régime de la température de l'eau, de l'envasement de réservoirs, des conditions chimiques des eaux, etc. - en tenant compte des exigences de la vie économique a prévoir.

f.) Organisation d'échanges d'expériences annuelles à l'intention des hydrologues. Organisation, de temps à autre, de cours d'hydrologie pour assurer la formation de cadres. Rédaction et publication des instructions.

B i b l i o g r a p h i e

1. Wundt, W.: Gewässerkunde. Springer, Berlin (1953)
2. Turc, L.: Calcul du bilan de l'eau, évaluation en fonction des précipitations et des températures. Ass. Intern. d'Hydrologie, Publ. No. 38. (1954).
3. Khosla, A.N.: Appraisal of Water Resources: Analysis and utilisation of data. Proceedings of the U.N. Scientific Conference on the Conservation and Utilization of Resources, IV. (1952)
4. Budiko, M.J.: T'eplovoi balans semnoj poverchnostii, Gidrometeoizdat, Leningrad, (1956).
5. Langbein, W.B. and Others: Annual run-off in the United States. Geological Survey Circular 52. Washington, (1949).
6. Thornthwaite, C.W. - Mather, J.R.: The water balance. Drexel Institute of Technology, Laboratory of Climatology, VIII/1. Centerton, New-Yersey, (1955).
7. Szesztay. K.: Estimation of the water balance of catchment areas in Hungary. Időjárás, 62. No. 6. pp. 313-328, Budapest, (1958).
8. Lászlóffy, W.: Les modules de l'écoulement spécifique en Hongrie et les profils en long hydrologiques. Vizügyi Közlemények. 36, No. 2. Budapest (1954). (En hongrois, avec résumé français.)
9. Szesztay, K.: Evaporation pan measurements in Hungary. WMO Bulletin, VIII. No. 4, p. 198.(1959)
10. Szesztay K.: Water balance survey of lakes and river basins in Hungary. Intern. Ass. for Scientific Hydrology. Publ.No. 51 (1960).
11. Szesztay, K.: Angaben über den Wasser- und Wärmehaushalt des Karpatenbeckens. II. Meteorologische Tagung der Karpatenländer. Budapest, (1961). (Sous presse).
12. World-wide survey of experiments and results on the prevention of evaporation losses from reservoirs. Intern. Commission on Irrigation and Drainage. Hira Art Press. Delhi (1960)
13. Szesztay, K.: The reduction of water surface evaporation through monomolecular films. Hidrológiai Közlöny, 42, No. 5. Budapest (1962) (En hongrois, avec résumés anglais et russe).
14. Standards for Methods and Records of Hydrologic Measurements. ECAFE ,U.N. Publications. Sales No. 1954. II. F.3. Bangkok, (1954).
15. Lászlóffy, W.: Les recherches hydrologiques en Hongrie. La Houille Blanche, Grenoble, No. 1/1962.
16. Kohler, M.A.: Design of Hydrological Networks. - Linsley, R.K.: Techniques for Surveying Surface-Water Resources. - WMO. Technical Notes Nos. 25 and 26. Geneva (1958)

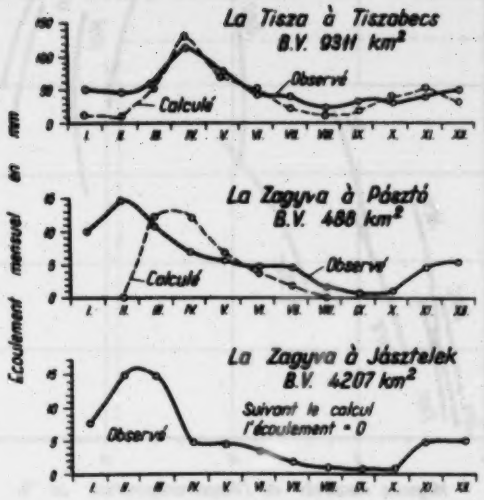

Fig. I. Comparaison des écoulements observés avec les valeurs calculées d'après Thorthwaite.

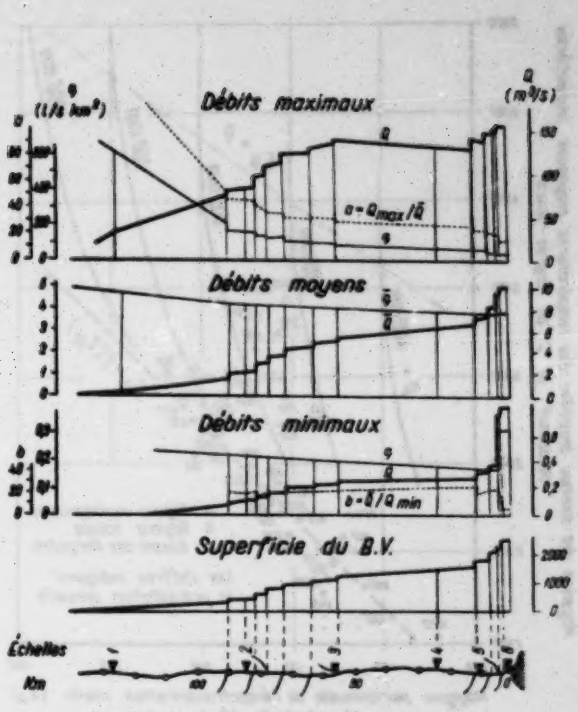

Fig. II. Profil en long hydrologique d'un cours d'eau secondaire de Hongrie.

Fig. III. Bacs d'évaporation. Mesure du niveau de l'eau à l'aide de l'appareil portatif de Fazekas.

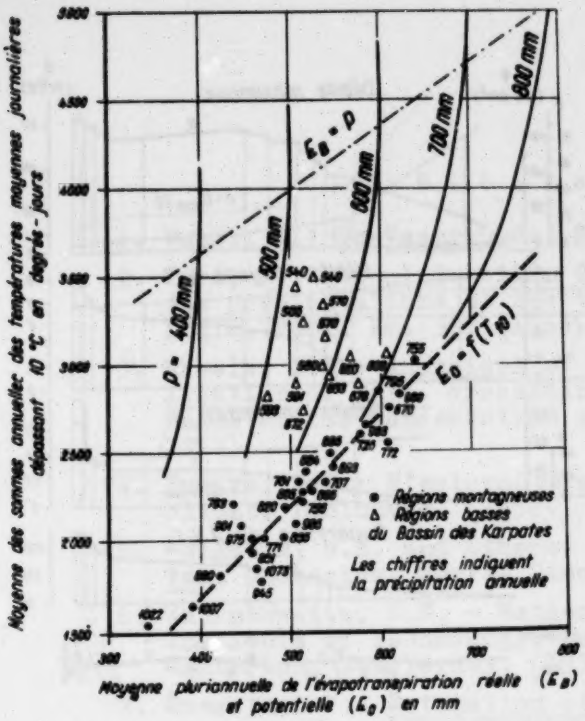
Moyenne des sommes annuelles des températures moyennes journalières dépassant 10 °C en degrés - jours
Moyenne pluriannuelle de l'évapotranspiration réelle (E_R) et potentielle (E_0) en mm
$E_R = P$
$E_0 = f(T_M)$
P = 400 mm
500 mm
600 mm
700 mm
800 mm
Régions montagneuses
Régions basses du Bassin des Karpates
Les chiffres indiquent la précipitation annuelle

Fig. IV.
Evaluation de l'évapotranspiration potentielle sur la base des données de température et de précipitation.

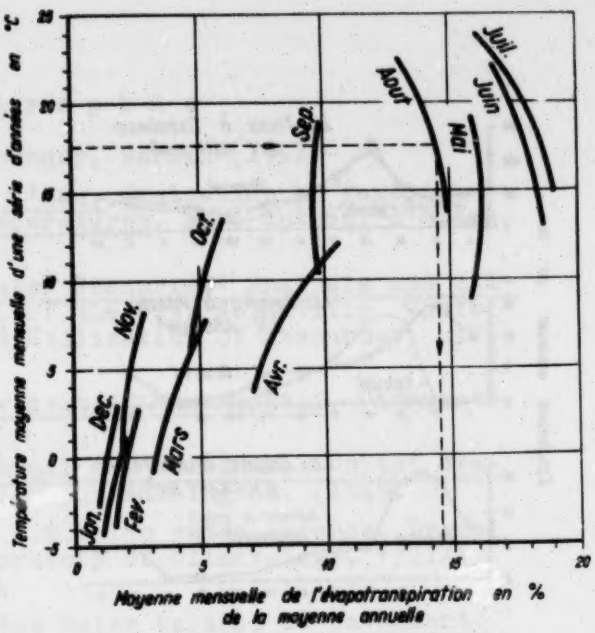

Fig. V.
Exemple de l'évaluation de la moyenne de l'évapotranspiration mensuelle à partir de la température moyenne mensuelle de l'air.

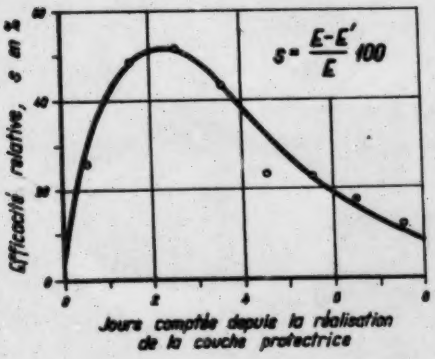

Fig. VI. Exemple de la variation de l'efficacité d'une couche protectrice servant à réduire l'évaporation.